

長期材令コンクリートの調査研究

(2 福井電話局車庫)

川 上 英 男^{*}

Investigation of Old Building Concrete (II)

Hideo KAWAKAMI

(Received Apr. 15, 1968)

The second investigation of the old building concrete was carried out. The age of the building was 6 years and its concrete surface had been exposed in the air.

The main results obtained on the properties of the concrete were as follows ;

- 1) The depth of alkali-lost in concrete were found to be 3.8 mm. in the outside of the building and 4.8 mm. in the inside of the storage. And the value at the garage (inside) was as high as 7.64 mm.
- 2) The mean value of the compressive, tensile and bond strength were 336kg/cm^2 , 26.5kg/cm^2 and 62kg/cm^2 respectively. Young's modulus was calculated as $2.73 \cdot 10^5\text{kg/cm}^2$.
- 3) The compressive strength estimated from Schmidt rebound number was very high in comparison with the value found in direct compression tests of prism specimens.

1 は し が き

長期材令のコンクリートの性質に関する研究の意義についてはすでに前報¹⁾において述べた通りである。近着のA. C. I (American Concrete Institute) からの通知によれば、A. C. I. Committee 201 on Durabilityにおいても、デンマークにおける研究²⁾と同様に長期にわたるコンクリート構造物の耐久性に関する研究を組織的に行なうべく、構造物を選んで定期的に調査を続けようとする企画が報ぜられている。こうした動きも長期材令コンクリートの性質に関する研究の重要性の一端を示すものといえよう。

ここに報告するのは、日本電信電話公社、福井電話局車庫のコンクリートに関するものである。この建物(写真1, 2)は、昭和34年9月に施工され、41年6

月に取壊しとなった。その取壊しに先立って、振動実験、水平耐力実験、材料実験がおこなわれた。本報告は、その材料関係の資料をまとめて考察を加えたものである。

特に、この建物のコンクリートは打ち放しであったため、普通の鉄筋コンクリート造における仕上層のような仲介物がなくコンクリートは直接外界の影響を受ける状況にあり、またコンクリート調査や材令6年9ヵ月間における使用状況など建物の経歴も判明しているなど、調査対象としては比較的好適のものと考えられる。

調査はシュミットハンマーテスト、中性化深さ試験、切りとったコア供試体の圧縮、引張試験、鉄筋の引張試験及び付着試験に関して行ない、それぞれ得ら

^{*} 助 教 授

箇所は、図2に番号を記入して示した。番号は、柱は1～17、南北通りの梁は18～33、東西通りの梁は34～54としていずれも建物東端より順次番号をつけた。これらの測定箇所はコンクリートの品質の統計的把握を目的として、各区域の打込コンクリートの量に比例するようにその数と位置をきめた。すなわち、設計図にもとづいて各区域のコンクリート量を求めると、

a区域 75m³ b区域 67.5m³ c区域 75m³
 であって、測定箇所数は、これに比例して

a区域 19 b区域 16 c区域 19
 とした。平均コンクリート4m³につき1カ所の割合である。

測定箇所1カ所について、約5cmの間隔をおいて、20点にわたって反撓係数(R)を測定し、その平均値

(\bar{R})を求める。この平均値より反撓係数が±3以上はずれた測定値は除外して、再度平均値(\bar{R}')を求め、これをもってその箇所の反撓係数値とした。

3・2 結 果

測定結果をまとめて表2に示した。これらの測定結果によると、反撓係数は44.8～54.6の範囲にあって全体の平均値は、51.03となる。各区域毎の平均値と標準偏差は表2に示した。

コンクリート強度と反撓係数との関係式として1次式を(1)に示した。

$$F_c = \alpha \cdot R - \beta \quad \dots\dots\dots(1)$$

F_c —コンクリート円柱強度 kg/cm^2

R —反撓係数

表 2

	シュミット ハンマー 反撓係数測定値平均								
	a 区 域			b 区 域			c 区 域		
	No.	打撃面	\bar{R}'	No.	打撃面	\bar{R}'	No.	打撃面	\bar{R}'
反撓係数平均値 (\bar{R}')	1	東	50.80	8	東	50.27	11	東	52.12
	2	南	50.88	9	東	50.75	12	東	52.23
	3	北	50.44	10	東	53.94	13	東	54.39
	4	西	51.57				14	東	45.69
	5	西	48.75	46	北	51.07	15	西	54.32
	6	北	52.45	47	北	48.92	16	東	53.72
	7	東	54.41	48	北	47.85	17	東	51.33
	18	東	52.76	24	西	47.30	28	西	46.76
	19	西	52.24	25	西	52.54	29	西	44.82
	20	東	52.74	26	西	54.00	30	西	52.80
	21	西	49.86	27	西	54.06	31	西	52.79
	22	西	52.07				32	東	51.46
	23	西	51.75				33	東	51.13
	34	南	52.62	40	北	50.43	49	北	48.25
	35	南	47.29	41	南	50.60	50	北	52.65
	36	北	52.08	42	北	49.92	51	北	52.65
	37	北	48.20	43	北	49.73	52	北	51.58
	38	南	49.36	44	北	51.93	53	北	54.61
	39	北	48.07	45	北	49.36	54	北	50.22
測 定 数 n	19			16			19		
\bar{R}' の 平 均 \bar{R}	50.97			50.79			51.29		
標 準 偏 差	1.8751			2.0007			2.8459		
圧縮強度標準偏差	24.3kg/cm ²			26kg/cm ²			37kg/cm ²		

α, β 一常数

この式において、 $\alpha=13$ 、 $\beta=184$ を入れた(2)式が、提案されている諸式のほぼ平均的な値をもっているのによく用いられている¹⁾

$$F_c = 13R - 184 \quad \dots\dots\dots(2)$$

この式によって、反撓係数平均値 51.03 に対して圧縮強度を推定すると 479 kg/cm^2 となる。

水平耐力実験、振動実験に用いたラーメンの柱、梁については更に各面について反撓係数を測定した。結果は表 3 にまとめた。

表 3 シュミットハンマー反撓係数平均値

	柱	柱	柱	柱
	④	⑥	⑫	⑭
東	53.53	52.15	51.82	*
南	*	*	*	50.79
西	52.41	52.69	53.76	49.07
北	51.50	52.42	*	49.85

(* : 前出)

この中から、コアを採取した部分について、コアの圧縮強度と反撓係数を抜きだすと表 4 のようである。

表 4

No.	部材	コア記号	圧縮強度* (kg/cm^2)	反撓係数 平均値 (\bar{R})
38	梁	ニ ニ	334 332	49.36
14	柱	へ へ	433 418	49.90
6	柱	ト	282	52.42

(* 表 10 参照)

4 中性化試験

車庫は打ち放しコンクリートであるため外部の影響による中性化は直接、構造体表面から内部に進行する状態にあって中性化に関する資料を得るには好適といえる。

試験を 2 段階にわけて、第 1 は各部分にタガネで孔を掘って、その孔について部材表面よりの中性化を測るものとし、第 2 は建物取壊し時に各部材断面について写真撮映をおこなって、中性化深さの断面内分布状況を把握するものとした。また、きれつ部分における中性化の様相は、きれつのない部分のものとは根本的

に異なると考えられるので、梁のきれつ部分についても測定をおこなった。

4・1 穿孔法による測定

穿孔における試験は、別記の水平耐力試験、振動実験に先立って行なわれたもので、これらの試験に支障をきたさないことが前提となったので、これら試験体以外の部分について実施した。

南北方向の 1～8 ラーメン (図 2) の中から、中間部を代表するラーメンとして 5 ラーメンをとり、これについて、図 3 に示すように 9 カ所について部材各面について測定した。これによって、柱については内部柱の四面、外部柱の内、外面につきそれぞれ柱脚、柱頭、中間の資料が得られた。更にこれらと条件の異なるものに隅柱があるが、この代表として C ラーメンの両端の柱を加えた。梁については、5 ラーメンから内部梁の資料がえられるので、あとは外梁の中から数カ所えらぶことにした。

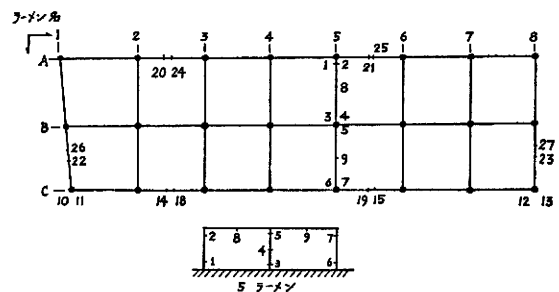


図 3 中性化測定部位

a 方法

1 カ所について部材各面で測定する (図 4 参照)。順序は次のようである。

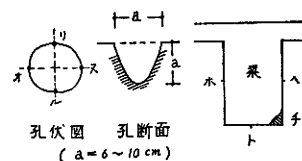


図 4 中性化測定部

1 タガネで円錐形の孔をあける。2 研り粉をワイヤブラシと圧縮空気 (噴霧器) で除去する。3 フェノールフタレンのアルコール (1%) 溶液をキリフキで散布する。4 表面から、内部の赤変した部分までの深さを、図 4 の伏図のリヌルオのように 4 点で測

定する。中性化深さはこの4点での平均値とする。さらに最大深さと最小深さも測定しておく。測定は6点となる。測定値はmmであらわし、少数以下は丸めるのが測定器具の精度からも妥当と考えられた。4ケの平均値は少数1位まで求めた。5 梁下端で孔をあけにくい処は、図4の④に示すように角部を欠いて孔の代用としたところもある。

測定器具は25mmアングルの一部を欠いて、それにスライド尺（スチールテープより切取った）をとりつけた自製のものである（図5参照）。

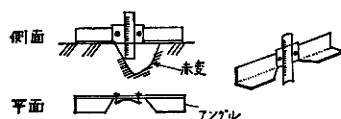


図5 中性化測定用スケール

b 結 果

測定結果から各孔についての平均値と最大値を表5に示した。（ ）内は平均値である。

c 考察と結論

以上82カ所の測定結果から次のことがいえよう。

- 1 同一部材の同じ番号のところでも、面が異なると中性化深さにかなりの差がある。
- 2 一つの孔の中でも中性化深さの差の大きいものがある、中性化深さとしてどのように定めたらよいかむずかしい。本例では、直交4測定値の算術平均値を採った。バラツキの原因としてはコンクリート品質そのものにある。
- 3 柱頭と柱脚では一般に差があるとは認められない。
- 4 建物の外部と内部（車庫とその他）にわけて統計的に結果を整理すると表6のようである。

表5 中性化深さ、最大値、平均値

部材	測定面	部位	記号	北 面	東 面	南 面	西 面	部材	測定面	ラ イ メ ン	記号	北 (下)	東 (下)	南 (下)	西 (下)
丸柱	内	柱脚	③	$\times \frac{(17)}{23}$	$\times \frac{(11)}{20}$	$\times \frac{(11.8)}{16}$	$\times \frac{(1.3)}{5}$	内	内	5	⑧	$\times \frac{(5.3)}{9}$	$\times \frac{(8.8)}{9}$	$\times \frac{(4.3)}{6}$	
		中央	④	$\times \frac{(13.3)}{14}$		$\times \frac{(11)}{18}$				5	⑨	$\times \frac{(6.5)}{9}$	$\times \frac{(3.5)}{6}$	$\times \frac{(3.5)}{5}$	
		柱頭	⑤	$\times \frac{(9.8)}{15}$	$\times \frac{(8.5)}{11}$	$\times \frac{(6.8)}{11}$	$\times \frac{(6.0)}{11}$								
外柱	内・外部	柱脚	①	$+\frac{(4.8)}{9}$	$\times \frac{(5.3)}{8}$		$\times \frac{(3.0)}{7}$	外	内・外部	A	20	$+\frac{(6.0)}{11}$	$\circ \frac{(4.3)}{80}$	$\circ \frac{(6.8)}{18}$	
		柱頭	②	$+\frac{(8.3)}{12}$	$\times \frac{(7.5)}{11}$		$\times \frac{(8.0)}{11}$				21	$+\frac{(7.8)}{15}$			
		柱脚	⑥	$\times \frac{(12.8)}{14}$	$\times \frac{(5.0)}{7}$	$+\frac{(11.0)}{16.5}$	$\times \frac{(4.8)}{7}$			C	14	$+\frac{(2.8)}{5}$	$+\frac{(3.4)}{8}$	$\circ \frac{(4.8)}{9}$	
		柱頭	⑦	$\times \frac{(8.5)}{11}$	$\times \frac{(10.5)}{15}$	$+\frac{(4.3)}{9}$	$\times \frac{(9.0)}{13}$				15	$\times \frac{(2.0)}{6}$	$+\frac{(7.3)}{8}$	$+\frac{(6.3)}{15}$	
隅柱	内・外部	柱脚	⑩	$\circ \frac{(0)}{0}$	$\circ \frac{(0)}{0}$	$+\frac{(0)}{0}$	$+\frac{(0)}{0}$	梁	内・外部	1	22	$\circ \frac{(45)}{11}$	$+\frac{(6.7)}{7}$	$+\frac{(10.8)}{15}$	$\circ \frac{(8.3)}{9}$
		柱頭	⑪	$\circ \frac{(3)}{9}$	$\circ \frac{(2.3)}{5}$	$+\frac{(3.3)}{5}$	$+\frac{(5.5)}{10}$				8	23	$+\frac{(3.3)}{8.0}$	$+\frac{(4.8)}{12.0}$	$\circ \frac{(4.8)}{8.0}$
		柱脚	⑫	$\circ \frac{(0.8)}{3}$	$+\frac{(1.0)}{3}$	$+\frac{(0.5)}{1}$	$\circ \frac{(4.0)}{7}$			A	24	$+\frac{(6.3)}{14}$	$\circ \frac{(6.1)}{15}$	$\circ \frac{(4.8)}{12}$	
		柱頭	⑬	$\circ \frac{(5.8)}{9}$	$+\frac{(0.5)}{2}$	$+\frac{(0)}{1}$	$\circ \frac{(7.0)}{9}$				25	$+\frac{(4.5)}{14}$			
											C	18	$+\frac{(1.0)}{1}$	$+\frac{(1.0)}{3}$	$\circ \frac{(1.0)}{1}$
× 車庫				n	28	Σ	部	部	C	19	$\times \frac{(9.0)}{13}$	$+\frac{(0)}{0}$	$+\frac{(5.0)}{18}$		
○ 内部				22	(106)	8				27	$+\frac{(3.3)}{7}$	$+\frac{(2.5)}{7}$	$\circ \frac{(8.5)}{10}$		
+ 外部				32	(123)										
()平均						243									

表 6

		符 号	資料数	平 均 測 定 値		最 大 値		不規則中性化比 最大値/平均値
				合 計	平 均	合 計	平 均	
外 部		a	32	122.5	3.82	242.5	7.6	1.99
内 部	車 庫	b	28	213.8	7.64	311	11.1	1.45
	そ の 他	c	22	106.4	4.84	183	8.3	1.72
全 体			82	442.7	5.4	738.5	9.0	1.67

単位は (mm)

5 建物内部のbとcを比較すると(表6参照), 車庫の方がその他の部分より中性化が深く, 平均値では1.58倍, 最大値では1.33倍となっている。自動車の排気ガスの影響がかなり大きいと考えられる。

6 建物の内部(c)と外部(a)の比較では内部の方が中性化深さは大きく, 平均値で1.27倍, 最大値で1.1倍となっていて, 屋内の方が屋外より大きい点は注目される結果である。

7 全体については, 平均値5.4mm, 最大値平均9.0mmとなった。コンクリート調合の水セメント比と経年それに中性化深さに関して, 今まで発表されているものに岸谷⁸⁾の(3)式がある。

$$t = 7.2x^2/R^2(4.6w - 1.76)^2 \dots \dots (3)$$

t—経年(年)

x—中性化深さ(cm)

w—水セメント比

R—コンクリート要因

この式に本例の $w=0.57$, $t=6.75$, 更にRとして(分散剤)0.4を代入してxを求めると 3.33mm である。外部に関する結果はほぼこれに近く 3.82 であって, 一方, 内部では式よりの計算値に対して1.5倍, 車庫部分については2.3倍となっている。

8 最大中性化深さと平均中性化深さの比(不規則中性化比)は3部分とも2より小さく, 全体としては1.67であって, コンクリートの均一性についてはこの点からも標準よりは良好と考えられる。

4・2 きれつ部の中性化

きれつ部分での中性化の様相は, きれつのない部分とは全く異っている。すなわち, 一般には部材表面からの他に, きれつ面(図6参照)を表面としてきれつ

面に直角の方向に中性化が進んでいる。

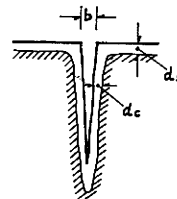


図 6 きれつ部断面

(b きれつ巾, d_s 部材面よりの中性化深さ, d_c きれつ面よりの中性化深さ)

これらの代表的な例を写真 3. 4 に示した。

きれつ部における“きれつ面よりの中性化深さ(d_c)”とその部分のきれつ巾, その周囲の“部材面よりの中性化深さ(d_s)”との測定値を表7に示した。

きれつ巾は最小目盛 0.1mm のルーペで測定した。

以上の結果は資料数が少ないので定量的考察をなすには不充分であるが, この結果の範囲では次のようなことがいえよう。

1) きれつ部では部材表面よりの中性化はきれつに沿って深部にまで進展している。どの程度まで進んでいるかについてはわからなかった。

2) きれつ巾が大きくなる程, きれつ面中性化深さ(d_c)が大きくなる傾向にある。

3) きれつ巾が, 約 1mm 前後より大きい場合は, $d_c/d_s > 1$ すなわち, きれつ面中性化が部材面中性化より大きい場合が多い(図7参照)。湿分や炭酸ガスがこの部分に停滞しやすくなることによるものかどうかについては更に検討を要する。

4・3 部材断面内の中性化分布

a 方 法

取壊し作業は重錐を振りあてて壊す方式でおこなわ

表7 きれつ巾ときれつ面中性化深さ

No.	測定面が面している向き	きれつ巾(mm)	部材面中性化 (d_s)(mm)	きれつ面中性化 (d_c)(mm)
25	外 側	0.8, 0.9	4.5	10
24	外内 下 側 側側	0.4, 0.8 0.8, 1.0 0.4, 0.4	6.3 6.1 4.8	5 5 2.5
19	内内 (北) 外内 (南) 下 側 側側	1.1, 1.0 1.2, 2.1 1.9, 2.1	9.0 5.0 0	15 5 10
26	内内 (東) 外内 (西) 下 側 側側	1.1, 1.5 1.3, 1.5 1.4, 1.4 1.4, 1.4	12 0 5 8	7.5 1.3 6.0 7.5
18	内内 (北) 外内 (南) 下 側 側側	0.5, 0.6 0.3, 0.9 0.4, 0.4 0.4, 0.4	5.3 1 1 1	0 0 2.5 7.5

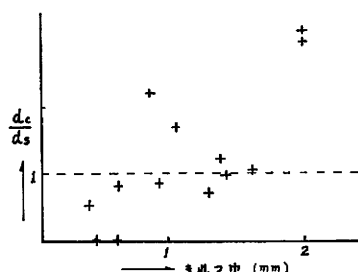
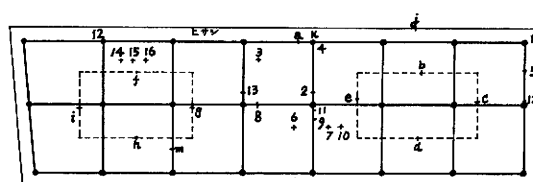


図7 きれつ巾と中性化深さ比

れた(写真5)。その作業の間をぬって露出した部材断面にフェノールフタレンのアルコール溶液を噴霧して測定と写真撮映をおこなった。その代表的な例を写真6・7に示した。

取壊し中の部材断面における測定は16カ所、その他にスラブ、ヒサシ等12カ所を斫りとして測定した。これらの位置は図8に示した。

図8 取壊し時、中性化測定
(点線部分は構造実験供試部分)

地中梁を掘りおこしてから9カ所についても表面を斫りとして測定した。

b 結果と考察

結果を一括して表8に示した。

i) 一つの部材断面について、その断面内の中性化深さの変動は(0~10, 4~15, 6~51)mmとなっておりこれからみれば、建物全体についての中性化深さとして考察するには、部分的な穿孔による資料を集めることでも充分であると考えられる。

表8 中性化深さ

No.	中性化深さ (cm)
1	2.5 (6.0~0)
2	7 (7~0), 12(19~6)
3	9 (19~0), 7,
4	8 (14~4), 9, 13
5	5,(~0), 5(~0)
6	8,
7	8, 8, 6
8	9,(15~2), 5(~2)
9	—
10	7 (15~)
11	6(~0), 9(13~6)
12	0
13	—
14	5, 7(12~0)
15	8(37~6) 27(51~)
16	36, 41, 35

() 内は最大値と最小値

ii) きれつ部の中性化深さについて測定成功したのは、一例にすぎなかったが、この場合には、きれつ巾

0.2mm（端部最大値）に対して、中性化深さは41mmに及んでいる（写真6参照）。この場合は、主筋の被り厚さが大きくて中性化は主筋にはおよんでいないが普通の被り厚さ（主筋4cm）の場合には発錆危険があると見なされよう。一般にきれつ巾限界値として、乾燥した環境では0.3mm、湿潤環境では0.2mmといわれているし、露出コンクリートに対しては0.1mmという値もF.Leonhardtによってとなえられている⁴⁾。本例の場合からいっても、きれつ巾は打放しコンクリートに対しては0.2mm程度におさえるべきでなかろうかと考えられる。

このためには、補強筋の設計を注意深くおこなう必要があって、許容応力を使いきったような設計では不十分であろう。

iii) スラブ上面防水モルタルでは中性化は、殆ど0に近く、これは防水剤の効果か、モルタル調合の故に少ないものであろう。

iv) 地中梁は、中性化深さは1カ所1mmというのがみられた他は0に近かった。基礎掘おこし時に、地下水位が基礎底面よりも更に低い状態にあったことが見出された。このような場合には土中の不純物にかかわらず、中性化に対しては地中の方が安全であるといえる。この場合には、耐火性能も必要ない訳であるから、被り厚さは地上の場合よりも特別に厚くする必要はないと考えられる。

5 コンクリートの強度及び力学的性質

5・1 供試体切出と整形

供試体ラーメンを水平耐力及び振動実験終了後にワイヤをかけて横倒しとし（写真8参照）、コンクリートはコンプレッサー式のブレーカーで斫り、鉄筋は熔接用バーナーで切断した。分離した部材片はワイヤーで吊りおろした。この部材片は表9で示すような供試体形状を予定し、この形をつくり出すのに十分な大きさとした。

表9 供試体の形状と数

	梁 よ り		柱 よ り	
コンクリート 圧縮試験	3ケ	15×15×30cm	3ケ	15×15×30cm
コンクリート 引張試験	3ケ	15×15×15cm	3ケ	15×15×15cm
鉄筋 引張試験	3本	19φ	3本 3本	19φ 13φ
付着試験	3ケ	15×15×30cm	3ケ	15×15×30cm

これら部材片の採取箇所は、図9に示した。

次に石材店でダイヤモンドカッターによって整形した。コンクリート供試体はすべてその長手方向を部材軸方向にとり、部材断面寸法の関係で供試体採取は、図10のようになった。また、梁、付着用供試体は、主筋がなるべく断面中心にくるように配慮して12×15×30cmとした。鉄筋供試体は、上記の部材片の中からコンクリートを斫りおとして調整した。

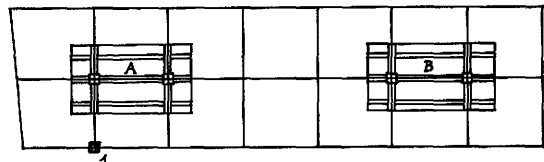


図9 コア用部材片採取箇所一斜線部
(A振動供試ラーメン, B 水平耐力供試ラーメン)

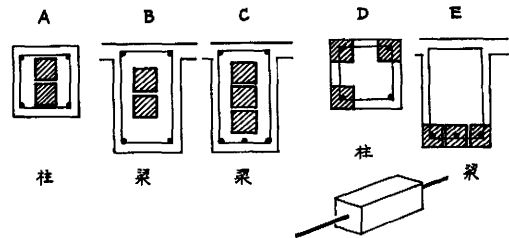


図10 供試体採取の部材断面
(A,B,C 圧縮, 引張試験用供試体)
(D,E 付着試験用供試体)

5・2 圧縮試験

a 方法

硫黄でキャッピングを施した後、4側面に歪計（SR-4）をはり、相対する2枚によって静歪計で歪度

を測定し、他の2枚からは動歪計を経てXYレコーダーに記録せしめた。

応力は、試験機の荷重指示針の回転軸の変位をとりだして、差動トランスに入れ、Y軸に記録せしめた。

加圧速度その他は JIS A1108 コンクリート圧縮強度試験方法に準じた。また JIS のコア抜き試験⁶⁾では供試体を水浸後に、試験をおこなうことになっているが、本例では採取状態のまま試験した。建物と同一条件における資料を得るためと歪ゲージを貼るのに好適であったからである。

使用した試験機を以下に記した。

圧縮試験機 アムスラー型 200 ton 耐圧試験機

静歪計 共和 SM60A J

スイッチボックス 共和 S S24 J

差動トランス 新光電機 DM13 200B—L

同上指示計 新光電機 MI—6 W—13型変位測定器

歪ゲージ S4 ペーパーゲージ

b 結果と考察

圧縮強度、供試体寸法を一括して表10に示した。全体の平均値は 336kg/cm^2 となる。これらの圧縮強度は柱体強度 (F_p) であって、日本の標準試験の円柱強度 (F_c) とは厳密には異なるものである。この F_p と F_c に関してはすでに前報¹⁾に述べたように $F_p = F_c$ とみなして表10の値をそのまま標準試験体の値とみなすことにする。

応力度・歪度曲線は、静歪計によるものを図11に示した。

ヤング係数を静歪計の測定結果から求めた。普通の設計で常時作用している 100kg/cm^2 前後の応力に対するものとして荷重 5 ton~20 ton に対する歪度から計算した。結果を表11に示した。

表10 コア圧縮試験結果

部材	部材片名, No.	中央部断面 (cm×cm)	断面積 (cm ²)	破壊荷重 (ton)	圧縮強度 (kg/cm ²)	平均 (kg/cm ²)
梁	ニ 1	151.4×150.2	228	76.0	334	304
	ニ 2	151.8×150.6	229	76.0	332	
	ハ 1	150×150	225	50.5	224	
	ハ 2	149×150	223	73.0	327	
柱	ト 1	148.5×153	227	64.0	282	378
	ヘ 1	153×152	232	100.5	433	
	ヘ 2	151×149	225	94.0	418	

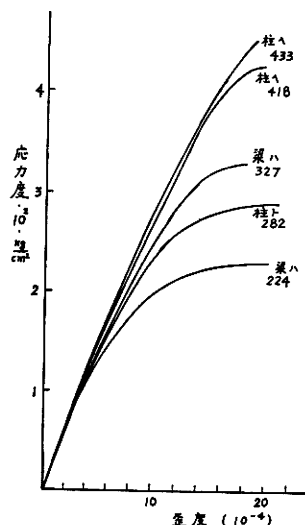


図11 コンクリート応力度歪度曲線

5・3 引張強さ試験

a 方法

純粋引張の試験は供試体の整形が困難であるので割裂試験によることにした。コア採取機の都合で、シリンドーコアが得られなかったので $15 \times 15 \times 15\text{cm}$ の立方体に線荷重を加える方法をとった⁶⁾。

線荷重の巾はできるだけ細い方が望ましいが、実用上から 6 mm の角鉄棒の角をすり減らして巾 5 mm としたものを用いた。

引張強度は (4) 式によって算定した。

$$\text{引張強度} = 2P / (\pi \cdot (h + b) / 2 \cdot \ell) \dots\dots\dots(4)$$

p—破壊荷重 (kg)

h—供試体高さ (cm)

b—供試体巾 (cm)

ℓ—供試体長さ (cm)

} 相対する辺の平均値

表11 5～20 ton に対する歪度とヤング係数

供 試 体	歪 度 $\times 10^{-6}$	ヤング係数 (Secant Modulus) $\cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$
へ — 1	233	2.86
へ — 2	245	2.72
ハ — 2	260	2.56
ト — 1	233	2.86
ハ — 1	250	2.66
平均 244		平均 2.73

その他、試験は JISA 1113 コンクリートの引張強度試験方法によった。

試験機は、アムスラー型 200 ton 耐圧試験機を用い容量を 20 ton にきりかえて使用した。写真 9 参照。

b 結 果

供試体寸法、破壊荷重、引張強度を一括して表12に示した。

5・4 付 着 強 度

a 鉄筋引張試験

付着試験の資料として必要であるので、まず鉄筋の

力学的性質を求めたものである。引張試験において鉄筋の側面に相対する位置に歪ゲージ（新興 S—11）を貼って静歪計で歪度を測定した。結果を表13に一括して示した。

b 付着試験方法

コンクリート端面は平滑には仕上がらなかった。これにキャッピングを施すにしても鉄筋があつて厄介であつたので両引き試験とした。（図12と写真10,11を参照）。

鉄筋にはコンクリート端面より60mmのところに取付

表12 コンクリート引張試験 結果

部 材	部材片番号	ϕ (mm)(平均)	h (mm)(平均)	b (mm)(平均)	破壊荷重 ton	引 張 強 度	
						kg/cm^2	平 均
柱	チ — 2	150.4	151.2	151.9	9.4	26.3	25.7
柱	チ — 1	152.5	152.1	152.3	8.4	23.1	
柱	ト — 3	155.5	148.3	152.0	10.0	27.6	
梁	ハ — 1	152.5	149	148.5	10.2	28.6	27.2
梁	ハ — 2	151.5	148.5	150	10.1	28.6	
梁	ハ — 3	153	151	151	8.9	24.4	

表13 鉄筋引張試験 結果

部材名	記 号	直 径	断 面 積	降伏点応力 *	破断荷重	破断強度 *	伸 び 率	ヤング係数(応力範囲)	
		mm	cm^2	kg/cm^2	ton	kg/cm^2	(%)	10^6 kg/cm^2	(ton)
梁	ホ—1	18.8	2.77	3,710	14.90	5,370	28.6	2.23	(0～7)
梁	ホ—2	18.6	2.71	3,340	12.85	4,740	27.6	1.84	(0～5)
梁	ホ—3	18.95	2.83	2,720	10.72	3,790	33.6	2.04	(0～6)
柱	へ—4	18.95	2.83	3,330	13.06	4,620	39.5	2.07	(0～6)
柱	ト—1	18.58	2.72	3,380	12.75	4,690	28.9	2.10	(1～5)
柱	ト—2	17.35	2.355	4,120	14.05	5,960	25.1	2.31	(1～7)
柱	へ—1	12.55	1.24	3,350	6.10	4,920	29.0	1.96	(0～2.5)
柱	へ—2	12.53	1.23	3,100	5.65	4,590	—	2.20	(0～2.0)
柱	へ—3	12.23	1.18	4,320	9.3	7,880	—	2.13	(0～2.0)

(*実断面積による, **明瞭な降伏点を示さないので 0.2%残留歪の値とした。)

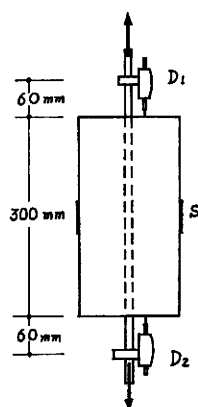


図12 付着試験
(D_1, D_2 ダイヤルゲージ)
(S ストレンゲージ)

金具でダイヤルゲージ (1/100mm) をつけて、鉄筋の拔出し長さを測定した。

コンクリート表面には相対する面に、鉄筋の位置にストレンゲージを2枚貼ってコンクリートの引張歪を測定した。

c 結果と解析

測定結果の例を図13, 14に示した。 D_1, D_2 はダイヤルゲージの読み, $\epsilon_{c1}, \epsilon_{c2}$ はコンクリートの歪度である。

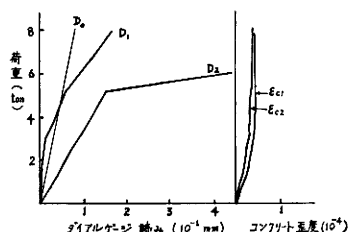


図13 荷重と鉄筋伸び (梁ロー1)

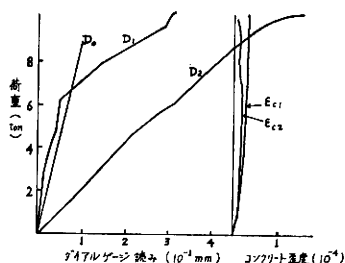


図14 荷重と鉄筋伸び (梁ロー3)

以上の結果における D_1, D_2 はダイヤルゲージの読みであって、鉄筋の拔出し長さ d としてはこれら D_1, D_2 からコンクリート端面よりダイヤルゲージ取付位置まで (長さ60mm) の鉄筋の伸びを差し引いたものである。この伸びを D_0 とし、鉄筋の引張試験の結果から荷重5tonに対する D_0 を求めると、平均 $5.4 \times 10^{-2} \text{mm}$ であった。図13, 14には、この結果を用いて D_0 の荷重・伸び関係をも書き加えておいた。すなわち $d = D_1 - D_0$ または $D_2 - D_0$ である。

一般的な試験結果は図15に示すようであった。

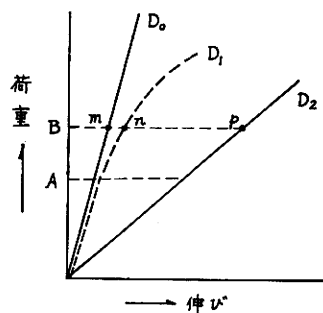


図15 付着試験における荷重と鉄筋伸び

$D_1 - D_0 = 0$ の範囲、すなわち、荷重 $O \sim A$ では拔出し長さは0とみなす。供試体鉄筋が余長部で彎曲していたりすると、 D_1 線は D_0 線と一致しないが、このときは一応 D_0 線に平行な範囲以下をそのようにみなすことにする。

Aより荷重が増大すると、 $D_1 - D_0 > 0$ となって、拔出し長さと荷重との関係が得られる。(例えば、Bの荷重では $n - m$)

本例では、一応、 $D_1 - D_0 = 0$ すなわち、Aの荷重をもって付着破壊の荷重とした。

次に、付着強度を求める段階であるが、一般に鉄筋の長さ方向における付着応力度の分布は様々ではないが、ここでは普通の付着強度試験と同様に、平均付着応力度を対象とすることにする。

ここで付着長さが問題となる。すなわち、図15の D_2 のような結果がみられることである。これは、すでにある長さ l_1 にわたって付着がないことを意味している。この長さは、長さ60mmに対する伸び D_0 との比較 (たとえば B 荷重の p, m) によって求めることができる。図16によれば、 p と m の比較によって ($l_1 + 60 \text{mm}$) が求められ l_1 が算出される。

これは、コンクリート全長より l_1 をひいた残りの l_2 に対して付着試験をおこなっていることを意味する。引抜応力の向きを考えれば、有効付着長さ l_3 と

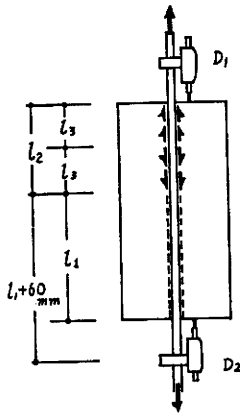


図16 付着試験

(l_1 無付着部分
 l_3 引抜抵抗部分)

しては $l_2/2$ をとることになる。

以上の考察から、付着強度は (5)式によって算定することにした。

$$\tau_b = T / (\phi \cdot l_b) \quad \dots\dots\dots(5)$$

τ_b —付着強度 (kg/cm^2)

T—付着破壊荷重 (kg) (本例では図15のA点)

ϕ —鉄筋周長 (cm)

l_b —有効付着長さ (cm)

以上の結果を表14に一括して示した。

付着強度は $20 \sim 107 kg/cm^2$ と範囲は大きいですが、平均すれば有効付着長さ $5.8 cm$ に対して $62 kg/cm^2$ という結果である。

表14 付着試験結果

部 材	部材片・記号	コンクリート部寸法 $b \times h \times l$ (cm)	鉄筋径 (mm)	周 長 (cm)	T (ton)	l_b (cm)	付 着 強 度 (kg/cm^2)
柱	イ 1	15.3×12.2×31.0 15.3×12.0×30.5	19.3 19.3	6.09	(コンクリートにきれつ)		
柱	イ 2	14.0×15.4×30.2 14.0×15.0×30.0	19.0 19.0	5.97	(付着抵抗なし)		
柱	イ 3	14.9×15.1×30.0 14.9×15.1×29.4	19.0 19.2	6.00	1.25	4.1	61
梁	ロ 1(端)	12.2×15.3×30.2 12.2×15.3×30.5	18.4 18.4	5.78	3.3	9.7	59
梁	ロ 2(中央)	15.1×14.8×30.4 15.1×14.6×30.3	18.5 18.5	5.81	0.45	3.8	20
梁	ロ 3(端)	12.0×15.4×30.4 12.0×15.3×30.3	18.3 18.3	5.75	3.4	5.5	107
平 均						5.8	62

コンクリート部寸法は両端面および相対する長さの測定値、鉄筋径は余長部のコンクリート端での直径、周長は平均の鉄筋径に対する周長。

d 考 察

以上の結果では、当初に予定した付着長さ $15 cm$ (供試体全体で $30 cm$) に対して、有効付着長さは $0 \sim 9.7 cm$ という結果であった。

さきに求めた付着強度は、この有効付着長さが $3.8 \sim 9.7 cm$ 平均 $5.8 cm$ に対するものである。このことは普通の付着試験のように $15 cm$ の付着長さに対するものと同一に論じられるものかどうかは別に検討されねばならない。また更にすすんで実際の構造物に対しては、一体どれだけの有効長さのものを想定したらいいかも一つの問題であろう。

ここでは、とにかく表14の平均値をとっておくと、圧縮強度 (F_c) に対して

$$\tau_b = (62/336) F_c = 0.184 F_c$$

となる。

一般の設計規準では、梁下端筋、柱筋に対しては、 $\tau_b = 0.06 F_c$ をとっているが、その約3倍の値を示している。しかし、最少値をとると

$$\min \tau_b = (20/336) F_c \approx 0.06 F_c$$

となって余裕はない。(これとても、設計当初の F_c が $180 kg/cm^2$ であったと仮定すれば τ_b 設計 = $10.8 kg/cm^2$ であるから約2倍の付着強度といえる)

以上の検討の結果、有効付着長さがみじかい場合に対するものではあるが付着強度の大略を知ることができ、また実施構造物の付着試験における問題点を明らかにすることができた。

6 シュミットハンマーテストと圧縮強度

前節で得られたコアの圧縮強度試験結果にもとづいて反撓係数と圧縮強度の関係を検討すると次のようである。

これには、2つの考え方がある。すなわち、コアを採取した部分の反撓係数をもって両者を関連づける方法で部分的材料的な観点によるものであり、他の一つは、コア圧縮強度の平均値と反撓係数の平均値を対応させるもので、シュミットハンマーを用いることの物理的意味は曖昧となるが、シュミットハンマーが建物コンクリートの非破壊強度判定を意図するとすれば、こうした全体的構造的なとらえ方も考えられる。前者の場合、コアそのものの反撓係数を得ることが大切であり、後者の場合は建物全体について統計的な取扱いができるように試料を採る必要がある。

6・1 コア部分について

コアを採取した部分について、コアの圧縮強度と反撓係数は表4（前掲）に示した。これによると、反撓係数は49.36～52.42と差が小さいのに対し、圧縮強度は283～433kg/cm²と大きいひらきがあり、しかも両者に一貫した関係は見出せない。この理由としては、反撓係数は表面付近のコンクリートによるものであるのに対し、コアは、図10のように部材中央部から採取されているので、コンクリート品質のばらつきのため、両者の供試部分自体がそれぞれ別のものであることが考えられる。

反撓係数測定は比較的良好に打ちこまれたとみられる面に対しておこなわれていることを考えて、コンクリートの調査強度は反撓係数に示される程であったが、施工時の骨材の分離、あるいは、コア整形時などに何かの原因によってコアの部分は低強度となったことも考えられる。

この場合に対して、両者の関係式をみちびくとすれば、表4より $\bar{R}=49.9$ に対し、 $F_c=(433+418)/2$ であるとし、(1)式の形を用いて(6)式が得られる。

$$F_c = 13R - 223 \quad \dots\dots(6)$$

この式によって、コンクリートの品質について推定を下せば、表15のようである。

なお、コンクリート部材の表面と内部に対する反撓係数の差異に関して切り取った梁部材の表面と、供試体をきりだした切断面において反撓係数を測定した結果は、表16のようであった。

表16の①②の比較では、反撓係数は表面の方がバラ

表 15

区 域	推定 F_c 平均 kg/cm ²	標準偏差 kg/cm ²	変動係数 %
a	440	24	5.45
b	437	26	5.95
c	444	37	8.43

表 16

	打 撃 数	反撓係数平均
①表 面	15	51.5
②切 断 面	16	48.0
③切断面モルタル部分のみ	16	43.0

ツキが少なく、平均値は大きい。②③の比較では、モルタル部が②の無作意に行なった場合より小さい。

切断面では、粗骨材が露出しているの、モルタル部分と粗骨材部分では反撓係数に明瞭な差がでるのに対し、部材面では粗骨材が埋込まれているために、直接粗骨材を打撃することが比較的少ないことによるものであろう。また、15×15×30cmの圧縮供試体を3tonで圧定したときの反撓係数は、図17のようであった。これは(2)式を中心として分布しているが反撓係数に比べて圧縮強度のバラツキが大きい（図17参照）。

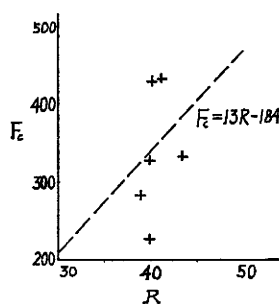


図17 コアの反撓係数と圧縮強度

6・2 建物全体について

建物全体の反撓係数の平均値は、51.03 で(2)式を用いた推定圧縮強度は、479kg/cm² となるが、コア供試体の圧縮強度平均値は、336kg/cm² で可成りのひらきがあって材令6～7年の気乾状態のコンクリートに対しては(2)式によるときは、危険側推定値を与えることが示された。

これは、前報りの結果や小林ら⁷⁾の調査結果とも共通することである。今、この測定結果にもとづいて、

推定式をたてると(7)式となる。

$$F_c = 13R - 326 \quad \dots\dots\dots(7)$$

この式によって、建物のコンクリートの品質を推定すると表17のようである。

表 17

区 域	推定 F_c 平均 kg/cm^2	標準偏差 kg/cm^2	変動係数 %
a	341	24	7.05
b	338	26	7.70
c	345	37	10.7

7 む す び

以上の調査の結果、次の結論が得られる。

1) コンクリートの中性化深さは、建物外部では平均 3.8mm で在来提案された推定式による値にほぼ近いが、内部の倉庫部分では 4.8mm で推定式の値の 1.5 倍となっている。更に、車庫部分内部では 7.64mm でこれは外部の値に対しては 2 倍、内部倉庫部分に対しては、1.6 倍であって、自動車の排気ガスの影響が大きいことを示している。

最近、都市公害の一つに排気ガスが取り上げられているが、人間や動植物に対する影響の他に、コンクリート建物に対してもその影響を考えなくてはならないことが示されている。

地中部分では、中性化深さは殆ど 0 に近いものであった。

2) コアによる試験の結果、圧縮強度 224~433 平

均 336 kg/cm^2 割裂による引張強度 23.1~28.6 平均 26.5 kg/cm^2 、ヤング係数、2.56~2.86 平均 $2.73 \times 10^5 kg/cm^2$ であった。

付着強度については、両引き試験を試み、短い付着長さではあるが、解析をおこなった結果、圧縮強度の 0.184 倍という値を得た。

3) シュミット反撓係数から在来の提案式によって求めたコンクリートの圧縮強度は、柱体コアの直接圧縮試験によって得た値に比べて非常に高い値を示した。そこで本調査結果にもとづいて、新しくこの両者の関係を求め(7)式を得た。

今後 この種の調査資料を充実して、長期材令のコンクリートの性質に関する検討をすすめたい。

調査にあたっては、電信電話公社建築局並びに取壊し工事を行なった清水建設株式会社北陸支店の御協力を得ました。ここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 川上：福井大工報 Vol. 16, No.1. Mar. 1963 pp.109~116.
- 2) G. M. Idorn "Durability of Concrete Structure in Denmark" Jan. 1967.
- 3) 岸谷："鉄筋コンクリートの耐久性" 鹿島建設技術研究所出版部 昭 38.
- 4) F. Leonhardt: Beton und Stahlbetonbau Heft 8, 1965 s. 181.
- 5) JISA 1107 "コンクリートから切りとったコアおよびハリの強度試験方法"
- 6) S. Nilsson: RILEM Bulletin, Jun. 1961 pp.63-67.
- 7) 小林・他：日本建築学会論文報告集 第144号 Feb. 1968. pp.32~42.

(昭和43年 4 月15日受理)

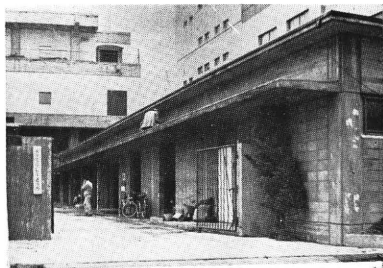


写真1 調査建物（北面）

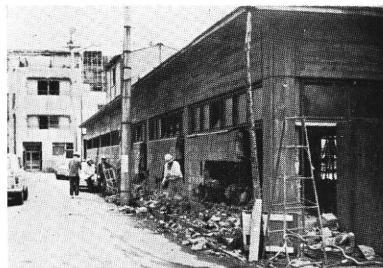


写真2 調査建物（南面）

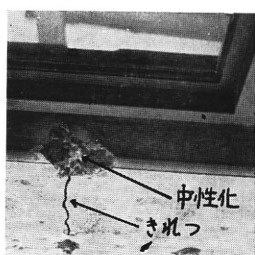


写真3 中性化テスト

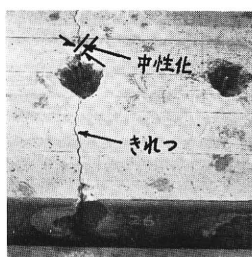


写真4 中性化テスト



写真5 取壊し

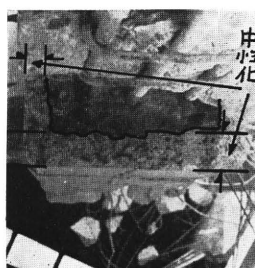


写真6 梁断面内中性化

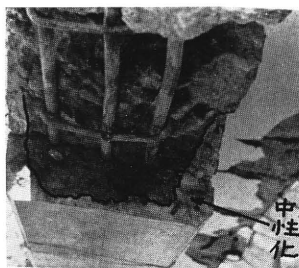


写真7 梁断面内中性化



写真8 部材切り取り準備

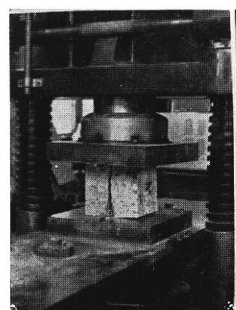


写真9 割裂試験

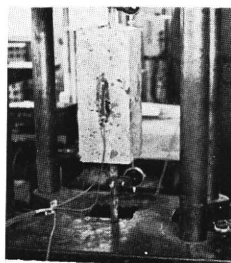


写真10 付着試験

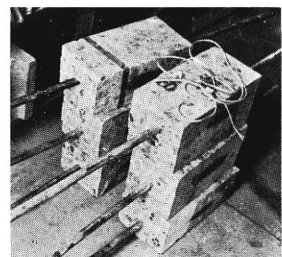


写真11 付着試験体